

다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 성능 평가

Performance Evaluation of Mobile Communication Systems with Multi-layer Cell Structure

*김 기완, *김 두용, **최 덕규

*순천향대학교 전기전자공학부, **아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부

*Ki-Wan Kim, *Doo-Yong Kim, **Dug-Kyoo Choi

* Div. of Electrical and Electronics Engineering, Soonchunhyang Univ.

** Div. of Information and Computer Engineering, Ajou Univ.

요 약

현재 늘어나는 개인 이동 통신 수요를 만족시키기 위하여 시스템의 용량 증가가 필요하다. 서로 다른 이동성을 갖는 사용자에 대한 서비스를 위해 매크로 셀 내에 마이크로 셀들로 이루어진 다층 셀 구조가 제안되고 있다.

본 논문에서는 급증하는 이동 통신 수요를 만족시키기 위한 다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 성능 분석을 위해 큐잉 네트워크 모델을 이용한 해석적 분석 방법을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안된 해석적 방법의 유효성을 검증한다. 제안된 해석적 방법은 수학적 분석 결과를 얻는데 상당한 용이성을 제공하고, 더 나아가 다층 셀 구조의 채널 할당 방식에 대한 시스템의 성능분석을 위해 사용될 수 있을 것이다.

1. 서 론

다가오는 21세기 정보화 사회에는 셀룰러 시스템과 개인 이동 통신 서비스를 통합하는 미래 공중육상 이동 통신 서비스(Future Public Land Mobile Telecommunication System)인 IMT2000과 같은 서비스에 의하여 이동 통신 서비스가 대중화 및 보편화 될 것으로 예상된다. 따라서, 보다 양질의 통화 서비스를 지속적으로 사용자에게 제공하기 위해서 이동 통신 시스템의 용량의 증가와 함께

시스템의 설계시 성능분석이 더욱 절실히 요구된다.

이동 통신 시스템의 용량을 증가시키기 위해서 마이크로 셀을 포함하는 매크로 셀 구조의 다층 셀 구조를 갖는 시스템의 설계로 통화량이 많은 지역과 적은 지역들간의 융통성을 제공함으로써 이동 통신 시스템의 용량과 서비스의 품질을 증가시킬 수 있다.

기존의 다층 셀 구조의 성능 분석 방법으로 마코비안 프로세서를 이용 할 경우 수식이 복잡해지고, 셀의 계층이

* 본 연구는 1997년도 학술진흥재단의 신진교수지원 과제의 위탁 연구로 수행되었습니다.

다단화 될수록 해석이 복잡해지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 개선하고자 큐잉 네트워크 모델을 이용하여 시간중속 특징을 갖는 다층 셀 구조의 블록킹 확률과 핸드오프 실패 확률의 성능 분석 방법을 제안하고, 제안된 큐잉 네트워크 모델의 검증을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교한다. 제안된 큐잉 네트워크 모델에 의한 분석 방법은 기존의 성능 분석 방법에 비하여 매우 간단히 수학적 성능 분석을 할 수 있고, 특히 시스템의 계층이 다층으로 확장될 때 유연하게 적용될 수 있다.

2. 다층 셀 구조

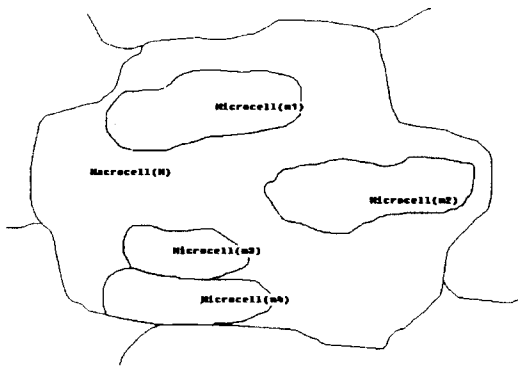


그림1. 다층 셀 구조

그림1은 하나의 매크로 셀 내에서 여러 형태의 마이크로 셀이 존재하는 다층 셀 구조를 나타내고 있다. 여기서, 매크로 셀은 사용자의 이동성이 높고 통화량이 적은 지역을 나타내는 반면 마이크로 셀은 사용자의 이동성이 낮고 통화량이 많은 지역을 나타낸다. 그림1의 다층 셀 구조에서 매크로 셀과 마이크로 셀들을 각각 하나의 큐로 모델링함으로써 상호 연결된 큐잉 네트워크 모델로 나타낼 수 있다. 각 셀에서 호의 발생률은 포아송(Poisson)분포를 나타내고 호의 서비스율이 지수분포를 따르며 전체 채널 개수가 C개라고 가정하면, M/M/C/C 큐잉 시스템의 형태로 나타낼 수 있다. 따라서, 시간에 따라 시스템의 부하가 변하는 큐잉 네트워크의 i번째 큐에서 평균 호 발생률을 λ_i , 서비스율을 μ_i , 채널 수를 c_i 라 하면 시간에 따른 시스템의 성능을 평가하기 위한 Kolmogorov 미분 방정식은 다음 식(1)과 같다.

$$\frac{dP_{ij}(t)}{dt} = -\lambda_i(t)P_{ij}(t) + \mu_i(t)P_{i,j-1}(t)$$

:

$$\frac{dP_{ij}(t)}{dt} = \lambda_i(t)P_{i,j-1}(t) - [\lambda_i(t) + j\mu_i(t)]P_{ij}(t) + (j+1)\mu_i(t)P_{i,j+1}(t) \quad 0 < j < c_i$$

:

$$\frac{dP_{ic_i}(t)}{dt} = \lambda_i(t)P_{ic_i-1}(t) - c_i\mu_i(t)P_{ic_i}(t) \quad (1)$$

여기서, $P_{ij}(t)$ 는 시간 t에서 i 번째 큐잉 시스템에 j 개의 호가 서비스될 확률이다. 그리고, 전체 네트워크의 성능을 평가하기 위하여, 각 큐에서의 평균 호의 발생률을 알아야 하므로 큐잉 네트워크의 product form에 사용된 방법을 적용하면 다음 식(2)로부터 각 큐에 대한 도착률을 구할 수 있다[1].

$$\lambda_i = \gamma_i + \sum_{l=1}^M \mu_l S_l r_{li} \quad (2)$$

여기서, r_i = 큐 i에서 새로운 호

(originating calls) 발생률

M = 네트워크에 있는 큐의 개수

μ_l = 큐 l의 채널당 서비스율

S_l = 큐 l의 평균 채널 점유도

$$(S_l = \sum_{n=1}^C np_l(n))$$

r_{li} = 큐 l에서 i로 라우팅 될 확률

이와 같이 다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 성능 분석을 위해 본 논문에서 제안하는 방법을 사용함으로써 실제 마코비안 프로세스를 이용하여 성능 분석을 할 경우보다 시스템의 성능 분석이 매우 간단히 이루어 질 것이다.

3. 트래픽 특성

인접하지 않는 마이크로 셀 m1과 마이크로 셀 m2를 포함하는 매크로 셀 M에 대한 각각의 새로운 호의 발생률을 $\lambda_{m1}, \lambda_{m2}, \lambda_M$ 이라하고 매크로 셀에서 마이크로 셀 m1으로 핸드오프 될 확률을 p_1 , 마이크로 셀 m2로 핸드오프 될 확률을 $1-p_1$, 마이크로 셀 m1에서 매크로 셀로 핸드오프 될 확률을 q_1 , 마이크로 셀 m2에서 매크로 셀로 핸드오프 될 확률을 q_2 , 매크로 셀의 서비스율을 μ_M , 마이크로 셀 m1과 마이크로 셀 m2의 서비스율을 각각 μ_{m1}, μ_{m2} 라 가정하면, 그림1에서와 같이 한 매크로 셀 안에

여러 개의 마이크로 셀이 존재할 때 서로 인접하지 않는 마이크로 셀 $m1$ 과 마이크로 셀 $m2$ 는 다음 그림2와 같은 큐잉 네트워크 모델로 표현할 수 있다.

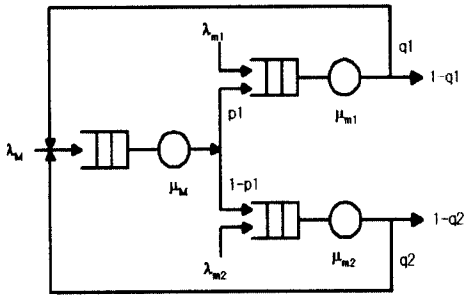


그림2. 다층 셀 구조의 큐잉 네트워크

위의 제안된 모델의 성능 분석을 위해 각 셀에서의 큐잉 모델은 다음 그림3과 같이 나타낼 수 있다. 그림3의 큐잉 모델로부터 시간에 따라 부하가 변할 때 블록킹 확률과 핸드오프 실패 확률을 얻어냄으로서 이동 통신 시스템의 트래픽 성능 분석이 가능할 것이다[2-7].

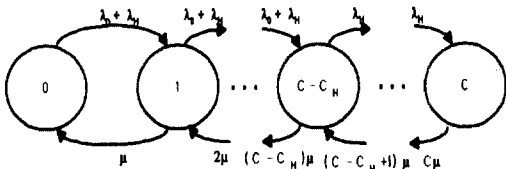


그림3. 각 셀에 대한 상태 천이도

그림3의 상태 방정식은 전체 채널이 C 개이고, 핸드오프 호를 위한 핸드오프 전용 채널을 전체 채널 C 개중 C_H 개를 할당한 시스템의 일반식을 나타내고 있다. 여기서, λ_0 는 새로운 호 발생률을 λ_H 는 핸드오프를 요구하는 호의 발생률을 나타내며 μ 는 채널의 서비스율을 나타낸다.

4. 성능 분석

시간 종속 이동 통신 시스템의 성능 분석을 위하여 통화지속시간 $T(=1/\mu)=120$ 초로 가정하면, 블록킹 확률 P_B 는 새로운 호가 채널을 갖지 못하는 상태를 나타내므로 식(3)과 같이 표현된다.

$$P_B = \sum_{j=C-C_H}^{\infty} P_j \quad (3)$$

호의 핸드오프 시도 실패 확률은 C 개의 채널이 모두 사용 중 일 때 가용 채널이 부족하여 통화가 종료되는 확률로써 참고문헌 [3]의 식을 따른다.

이동 통신 시스템의 성능 분석을 위하여 매크로 셀 M 과 마이크로 셀 $m1$, 마이크로 셀 $m2$ 의 각 시스템의 전체 채널 C 를 각각 30개로, 핸드오프 호를 위한 전용 채널 C_H 를 각각 2개라 가정하고, 시간 0-1500초 동안 각 셀에서 새로운 호의 발생률을 0.16, 0.12, 0.16으로, 시간 1500-2500초 동안 각 셀에서 새로운 호의 발생률을 0.10, 0.06, 0.10으로 하고, 앞의 그림2에서 보인 각 셀로의 핸드오프 될 확률 $p1$ 은 0.6, $q1$ 은 0.6, 그리고 $q2$ 를 0.4로 하여 이동 통신 시스템의 새로운 호 블록킹 확률과 핸드오프 실패 확률을 구하면 다음 그림4, 그림5를 얻을 수 있다.

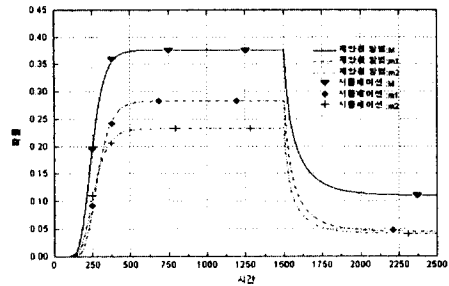


그림4. 블록킹 확률

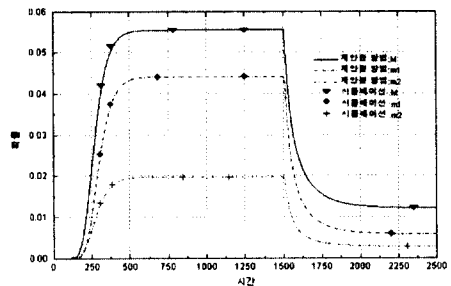


그림5. 핸드오프 실패 확률

본 논문에서 제안한 다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 모델의 수학적 분석결과를 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 전용 프로그램인 ARENA를 사용하여 수학적 분석결과와 비교하였다. 제안된 모델에서 셀 내의 부하가 자주 변하여 시스템의 성능 파라미터들이 시간에 따라 변화하는 nonstationary 특징을 가지고 있다. 이러한 nonstationary 특징을 갖는 큐잉 시스템의 시뮬레이션을 수행하기 위하여 참고문헌[8]에서 제안하는 방법을 이용하였고, 시뮬레이션 수행으로부터 얻은 결과는 독립적으로

시뮬레이션을 1000번 반복 수행하여 얻은 데이터로부터 95%의 신뢰 구간을 갖는 앙상블 평균을 구한 결과이다. 따라서, 시뮬레이션 결과와 수치해석으로 얻은 결과가 거의 일치함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 무선 이동 통신 기술의 발달로 다양한 개인 이동 통신 서비스의 상용화에 의해 사용자의 수요가 급격히 증가함에 따른 용량 한계의 문제점과 트래픽의 지나친 부담의 문제점을 해결하기 위한 다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템의 성능 분석 기법을 제안하였다. 이러한 이동 통신 시스템의 성능 분석을 위하여 다층 셀 구조를 1차원 큐잉 네트워크로 일반화하여 모델링하였다. 일반적인 마코비안 프로세서를 이용하여 시스템을 분석할 때와는 달리 큐잉 네트워크 모델의 각각의 큐에서의 평균 호 발생률을 결정하기 위해 네트워크의 product form에서 사용되는 유사한 방법을 적용한 성능 분석 모델을 제안하여 복잡한 수학적 분석을 단순화하여 호의 블로킹 확률과 핸드오프 실패 확률을 구할 수 있었으며 제안된 모델의 검증을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였다. 성능분석 결과와 같이 수학적 분석과 시뮬레이션을 이용한 결과가 거의 근접하다는 것을 알 수 있다. 그러므로, 제안된 성능 분석 방법은 다층 셀 구조를 갖는 이동 통신 시스템에 적용 될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] D. Tipper and M. K. Sundareshan, "Numerical methods for modeling computer networks under nonstationary conditions," IEEE J. Select. Areas Commun., pp. 1682-1695. Dec. 1990

[2] 김기완, 김태훈, 김두용, 박병수, "비정상상태 특징을 갖는 이동 통신 시스템의 성능 분석", 대한전자공학회 호서지부 97 춘계 학술 발표논문지, vol, no.1, pp.95-100, 1997년 4월

[3] Daehyoung Hong and Stephen S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-35, Aug 1986

[4] J. Filipiak, Modeling and Control of Dynamic

Flows in Communication Networks. New York : Springer-Verlag. 1988

[5] Leonard Kleinrock, "Queueing systems : vol.1.", John wiley & Sons, Inc. 1975

[6] D. G. Carlm. Harris, Fundamentals of Queueing theory, 2nd Ed. Wiley, 1985

[7] H. Van As, "Transient analysis of Markovian queueing systems and its application to congestion control modeling", IEEE J. Select. Areas Commun., pp. 891 -904, Sept. 1986

[8] W. P. Lovegrove, J. L. Hammond, and D. Tipper, "Simulation Methods for Studying Nonstationary Behavior of Computer Networks." IEEE J. Select. Areas Commun. pp. 1696-1708. Dec. 1990